

Proyecto:

**Levantamiento con Láser Escáner del Peña – Segat de Montjuïc, Barcelona**

Administración solicitante:

**Margarita Pares Rifa**

**Ajuntament de Barcelona**

## 1.0 PRESENTACIÓN

El Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad (LMVC) fue creado en el año 2000, como una iniciativa del Centro Específico de Investigación de la Universidad Politécnica de Cataluña, Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), junto con la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB), impulsado por los departamentos de Construcciones Arquitectónicas I y de Expresión Gráfica en la Arquitectura.

Actualmente el LMVC lleva más de ocho años en la investigación y desarrollo de usos y aplicaciones de la tecnología láser en el registro del Patrimonio Arquitectónico. Su objetivo principal es ofrecer una integración de las nuevas tecnologías en el estudio, visualización y modelización de la ciudad.

Actualmente el Laboratorio tiene una experiencia de más de 25 proyectos de escala arquitectónica en los que destacamos; Museo Marítimo de Drassanes, Santa María del Mar y de 7 proyectos de escala urbana en lo que destacamos; los cascos históricos de Cadaqués, Tossa de Mar, Sitges, Lloret de Mar y la Fachada Marítima del Malecón de la Habana en Cuba.

Ejemplos:



Figura 01. Modelo de Nube de Puntos. Can Ferrer del Más en intensidades



Figura 02. Modelo de Nube de Puntos. Interior del Museo Marítimo de Drassanes



Figura 03. Modelo de Nube de Puntos. Exterior del Museo Marítimo de Drassanes

## 2.0 ANTECEDENTES DEL LMVC

El uso del escáner láser terrestre en últimos años ha sufrido un gran incremento en diversas aplicaciones. La tecnología no es nueva, existiendo gran variedad de metodologías para las diferentes aplicaciones. Aunque la etapa de toma de datos es relativamente rápida y sencilla, el post proceso resulta costoso. Son varios los programas que hay que conocer y utilizar para poder generar resultados útiles. Los procedimientos para transformar los datos que toman los escáneres directamente en modelos optimizados pueden volverse extremadamente largos. Por esta razón se propone, el uso de un modelo de nube de puntos denso como resultado final en vez de un modelo de polígonos y/o superficies. No se pretende demostrar que un modelo de puntos puede sustituir a un modelo de polígonos con texturas, sin embargo, un modelo de puntos densos permite la generación de varios resultados útiles en tiempos de post proceso mucho más cortos.

La figura 1, muestra el flujo de trabajo con escáner láser terrestre, después de la adquisición y registro de las nubes de puntos, se inicia el pre-proceso de los datos que consiste en: “limpiar los datos”, reducir ruido, redundancias y eliminar una cierta cantidad de errores introducidos por las limitaciones del dispositivo. Estas operaciones que normalmente se consideran sencillas, en realidad son una serie de pasos críticos e importantes para la correcta generación de superficies. Posteriormente el conjunto de puntos se convierte en un modelo poligonal sin estructura (mallas), esta es la parte más importante en la mayoría de los programas de ingeniería inversa, este paso es semi-automático: el usuario sólo debe introducir algunos parámetros como las medidas de ángulos, longitudes de borde y la altura o el área de los elementos. Normalmente, se necesitan algunos ajustes para corregir los errores e imperfecciones de los polígonos generados. Estas operaciones varían desde la edición directa de polígonos a correcciones o ediciones de superficies enteras: correcciones de bordes, reducción del número de polígonos, inserción de polígonos para rellenar los agujeros, etc. Todas estas operaciones requieren un conocimiento avanzado de varios de los programas de modelado 3D (Polyworks, Rapidform, Geomagic...) y de una considerable inversión a nivel de tiempo y energía, especialmente en el caso del modelado de proyectos exteriores.

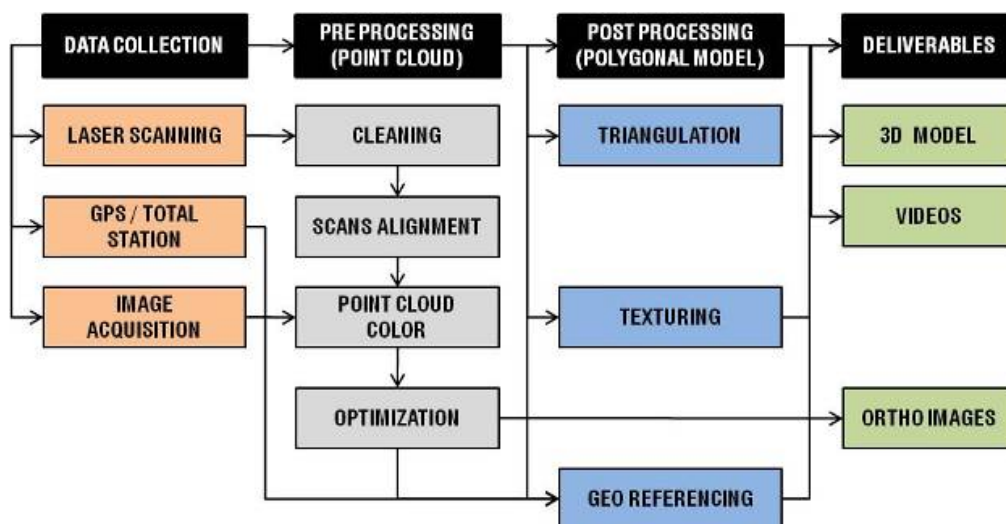


Figura 04: Flujo de trabajo con escáner láser

El uso del escáner láser terrestre para medir la forma y la geometría a nivel arquitectónico y urbano permite, al instrumento obtener en muy poco tiempo una gran cantidad de datos, en muchos casos imprescindibles para estudios de rehabilitación, protección de entornos urbanos de alto valor histórico-arquitectónico y natural, por lo que es considerado como un instrumento capaz de aportar un avance significativo para la eficiente documentación del Patrimonio.

Un aspecto a solucionar es el procedimiento para explotar y utilizar correctamente toda la información obtenida, sobre todo en función de los propósitos planteados para casos de estudio e investigación específicos, tanto a nivel arquitectónico como a escala urbana. Una solución relativamente rápida y eficaz es el uso de nubes de puntos densas y optimizadas para la obtención de distintas informaciones, entre ellas la reproducción de los planos y de las fachadas de entornos naturales y edificaciones a escala urbana como orto imágenes en entornos CAD. Esta solución, propuesta por el Laboratorio de Modelación Virtual de la Ciudad, es la utilizada para el levantamiento del proyecto del Peña-segat de Montjuïc.

La información generada y las fichas obtenidas confirman el valor y utilidad de la explotación de los modelos de nubes de puntos densos en todos los casos en los que hace falta información de forma rápida y sencilla, en un entorno fácilmente manipulable y amigable por lo que no se requieren conocimientos especializados. Por otro lado, una nube de puntos densa y optimizada es una base sólida para procesos que requieren tiempos más largos de elaboración (generación de mallas, modelos digitales de terreno) y constituye un registro histórico actualizable que siempre puede ser consultado e integrado con otras herramientas (SIG, simulaciones y realidad virtual).

El proyecto del levantamiento del Peña-Segat de Montjuïc en Barcelona se ha generado a partir de un modelo de puntos denso georreferenciado con color, el cual puede integrarse con otros formatos y programas, pudiéndose explotar, de éste modo, diferentes informaciones; ortoimágenes, modelos digitales de terreno, videos, etc. En definitiva, cualquier tipo de material válido para el mejor desarrollo del proyecto de que se va a realizar en el emplazamiento en cuestión.

La primera parte trata sobre el levantamiento con escáner láser terrestre; adquisición de datos y su post proceso. Se discute la correcta distribución de posiciones, la resolución de captura, el proceso en la toma de imágenes digitales, el post proceso de la toma de datos espaciales e imágenes y la georreferenciación y verificación del modelo con equipos de apoyo tradicionales.

La segunda parte trata sobre la explotación del modelo de nube de puntos; generación de ortoimágenes, videos, extracción de curvas de nivel, medidas simples y la generación de Modelos Digitales de Terreno para poder utilizar posteriormente, en escalas arquitectónicas en Sistemas de Información Geográfica.

Por último se discuten los problemas de los levantamientos de entornos urbanos complejos y las limitaciones físicas que plantean los instrumentos. Se proponen nuevas ideas para el futuro desarrollo de nuevas aplicaciones.



### 3.0 ÁMBITO DE ESTUDIO

El Peña-Segat de Montjuïc se encuentra ubicado en el sector oriental de la montaña con el mismo nombre en la ciudad de Barcelona. El peña-segat es una pared de relieve abrupto de unos 400 metros de ancho situada entre la ronda del Litoral y el Castillo de Montjuïc.

La geomorfología del sector se caracteriza por zonas excavadas y taludes, acumulación de rocas, escombros y vertientes poco modificadas.

La vegetación predominante son las plantas rupícolas, mosaicos de prados secos, matorrales, setos y especies autóctonas con empobrecimiento vegetal en los espacios excavados.

El emplazamiento del proyecto se ubica justo debajo del acantilado, limitando el ámbito de estudio a la zona norte, por la parte restringida del puerto; en la zona sur por el límite físico del cementerio de Montjuïc; a oeste, por el propio desnivel del acantilado, y finalmente a la zona este, por la Avenida de Can Tunis. La zona analizada se caracteriza no sólo por ser un ámbito degradado a nivel ecológico, sino también debido al cruzamiento de infraestructuras que se ubican en este punto: por una parte, la presencia elevada de la Ronda Litoral, y por otra parte, y en su zona inferior, una red interna de mercancías férreas del puerto, situada paralelamente al Paseo de Can Tunis, condicionan significativamente el ámbito de estudio.

El Ayuntamiento de Barcelona ha planteado una nueva calificación urbanística para el peña-segat de Montjuïc y del solar descrito anterioridad, para proteger toda esa zona, un lugar considerado de paisaje singular y con valores biológicos, geológicos y arqueológicos a nivel local. El consistorio plantea la calificación de reserva natural, categoría 29 del PGM, en toda el área alrededor del desprendimiento vertical, y el solar situado al pie del acantilado con nueva calificación de parque y jardín urbano (en la actualidad tiene la categoría de 4, servicios técnicos).

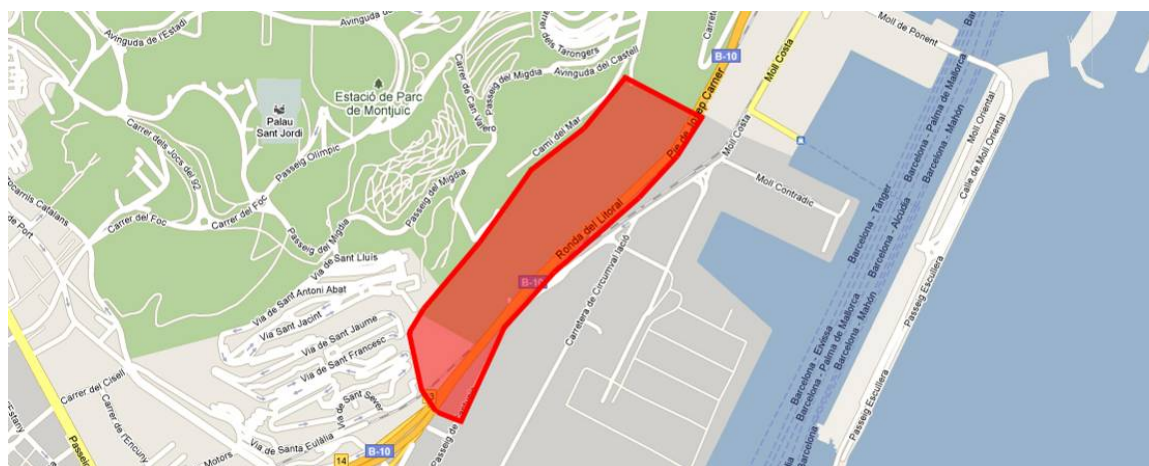


Figura 05. Emplazamiento del proyecto (fuente: Google Maps)



Figura 06. Fachada frontal, a partir de una malla libre texturizada

#### 4.0 LEVANTAMIENTO Y MODELO 3D

Los trabajos consistieron en la elaboración de un modelo tridimensional de alta resolución generado por medio de un escáner láser 3D (Riegl z420i) de la fachada frontal del Peña-Segat de Montjuïc, para la generación de ortoimágenes a partir del modelo de nube de puntos en formato JPG en un entorno CAD de:

Alzado y planta general (250m x 600m)

escala 1:500, 1 punto@20cm

Alzado y planta detalle, 4 secciones (30m x 400m)

escala 1:200, 1 punto@5cm



Figura 07. Zona General ámbito de estudio

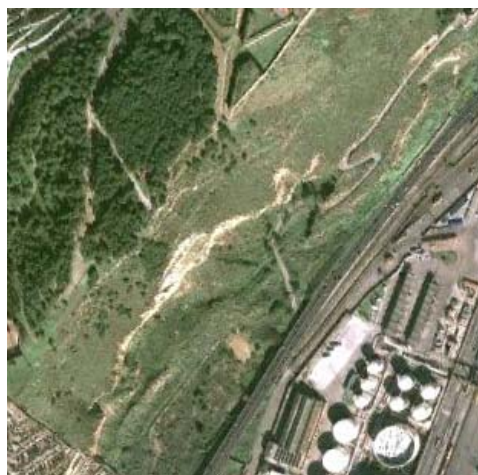


Figura 08. Zona de Detalle ámbito de estudio

Entre los varios sistemas de escáner láser terrestre de alta precisión, de largo alcance y de libre contacto que hay en el mercado, se utilizó el sistema 3D LMS Riegl-Z420i, fabricado por la casa RIEGL (Horn, Austria). El sistema consta de un distanciómetro láser que proporciona informaciones métricas espaciales y radiométricas (x,y,z,i), un software de procesamiento (RiSCAN PRO), y una cámara réflex digital calibrada de alta resolución. El funcionamiento del escáner láser es muy sencillo: el rayo láser es desviado verticalmente mediante el uso de un espejo poligonal, este movimiento, combinado con la base rotatoria del sistema, permite adquirir una escena con un gran campo de visión (FOV = 360° H x 80° V). La velocidad de exploración es de 1000 a 25000 puntos por segundo con una precisión de  $\pm 2$ cm. El rango de medición mínimo es de 2 metros y el alcance máximo puede llegar hasta 1200m. Los datos escaneados se transmiten a un ordenador portátil a través de un puerto Ethernet TCP / IP, mientras que la interfaz de la cámara (USB) permite que las fotos se introduzcan en el mismo portátil. El programa RiSCAN PRO, permite al operador realizar un gran número de tareas como la configuración del sensor, la adquisición de datos, la visualización y la manipulación de los datos.

Para el levantamiento de más de 800 metros del penya-segat de Montjuïc fueron necesarios tres días de campaña (debido a la amplitud del proyecto y también a las malas condiciones meteorológicas, ya que el escaneado no se realiza de forma correcta cuando el terreno está mojado) con un total de 21 posiciones y más de 250 fotos de 4Mp. La distancia elegida entre cada posición fue de 50 metros, con una dos resoluciones angulares de 0,01° y 0.05°, respectivamente. El tiempo de escaneo varió desde los 10 minutos a 30 minutos dependiendo de la gama de exploración y la visibilidad de las zonas de interés. El procesamiento de datos ha consistido en dos etapas: pre y post-procesado.

El pre-procesamiento de los datos incluye la reducción de ruido, el ajuste del color, contraste y luminosidad de las imágenes, el coloreado de las nubes de puntos y el registro de las posiciones del escáner. Este paso se realizó utilizando respectivamente los programas: RiSCAN PRO, Photoshop Lightroom, e Innometric Polyworks.



El post-procesamiento de datos incluye la optimización de la nube de puntos general y la creación de secciones y ortoimágenes del terreno de estudio a una resolución de 50pix/cm para la representación de la escala 1:200 [4]. Fue necesario aproximadamente 1 mes de trabajo en oficina para generar un modelo optimizado de cerca de 50 millones de puntos y las 16 ortoimágenes en archivo CAD en formato DINA3.



Figura 09. Planta general, a partir de la nube de puntos, del ámbito de estudio

El modelo de puntos georreferenciado se completó con un MDT de la zona de estudio, generado a través de la herramienta de SIG, ESRI ArcScene, a partir de datos descargados desde la página web del ICC (curvas de nivel y ortofotografía escala 1:5000). Las ventajas añadidas al uso de esta herramienta para la creación de modelos digitales del terreno, a diferencia de modelos tradicionales de polígonos generados en plataformas CAD, es la posibilidad de realizar distintos tipos de análisis como: estudios de pendientes, estudios de visibilidad, así como evaluación de orientaciones y sombras. Además, el modelo de terreno obtenido se encuentra en el mismo sistema de coordenadas que el modelo de puntos, permitiendo de esta manera una fusión automática entre los dos tipos de datos. Finalmente, la visualización, exploración y explotación conjunta de toda la información para la generación de videos, obtención de medidas simples, y ortoimágenes a distintas escalas se realizó con la plataforma Pointools.

## 5.0 RESUMEN

<b>Lugar:</b>	Penya – segat de Montjuïc
<b>Término Municipal:</b>	Barcelona
<b>Comarca:</b>	Barcelonés

Los trabajos de campo se realizaron en los meses de Mayo y Junio de 2010, durante 3 días, y consistieron en la captura de datos topográficos, para la realización de ortoimágenes en CAD a escala 1:100, usando un escáner láser terrestre: Riegl z420i.

El modelo final de nube de puntos fue georeferenciado a la base topográfica realizada por el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) en noviembre de 2009. En resumen, los números del estudio realizado son los que se muestran a continuación:

Días	3
Posiciones	21
Modelo 3D	50.500.000 puntos (xyz+i+RGB)
Ortoimágenes	16
Fotos	250
Tiempo escaneo	entre 10 min y 30 min

La reproducción digital del penya-segat de Montjuïc permitirá disponer de una base de datos que proporcione una plena comprensión del patrimonio natural como soporte, a cualquier planeamiento de proyecto o de intervenciones futuras para su protección. Debido a su alto valor paisajístico, biológico, geológico y arqueológico, era importante medir y modelar la totalidad del penya-segat con una alta precisión. En particular, el objetivo era la obtención de una gran cantidad de información métrica sobre elementos del penya-segat, que presentaban dificultades para los sistemas de mediciones tradicionales, en un periodo de tiempo suficientemente corto para incluirlo en el proyecto del planteamiento de la nueva calificación urbanística del sector.

Este instrumento urbanístico requiere de estudios de ordenación volumétrica, a través de los cuales se pueden definir con claridad la situación de las infraestructuras que configuran el espacio (tanto la Ronda Litoral como la vía férrea interna del puerto) y analizar el estado general del terreno donde se aplicará la modificación de uso del suelo, según el PGM.

Estos estudios son necesarios para la autorización de obras nueva planta en solares vacíos así como en proyectos urbanísticos y de modificaciones de planeamiento, ya que ayudan a entender mejor el ámbito de estudio, obteniendo información gráfica y visual (imágenes) cómo información útil para los trabajos a realizar a posteriori (formato CAD).

Como se puede ver en las fichas a continuación, la información que facilita el escáner láser contiene todos los elementos necesarios para llevar la mayoría de los estudios requeridos para la redacción de la nueva calificación urbanística. El modelo de nube de puntos permite la obtención de cualquier análisis del conjunto: estado actual de la zona de estudio, vegetación, presencia de preexistencias en el emplazamiento, límites geográficos y reales, y posicionamiento en detalle de infraestructuras, así como las relaciones que se establecen entre ellas y el ámbito de estudio.



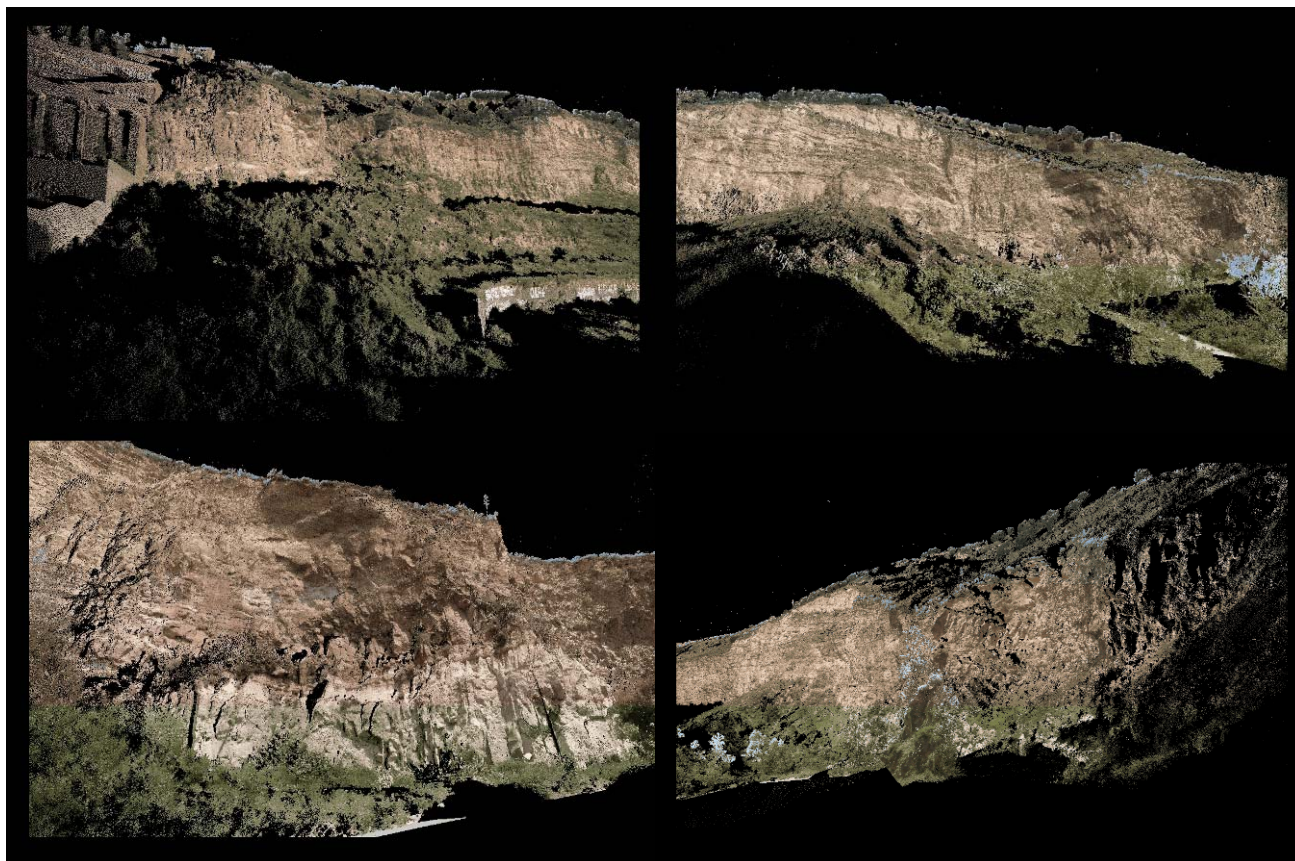


Figura 22. Imágenes del penya-segat a partir de la nube de puntos

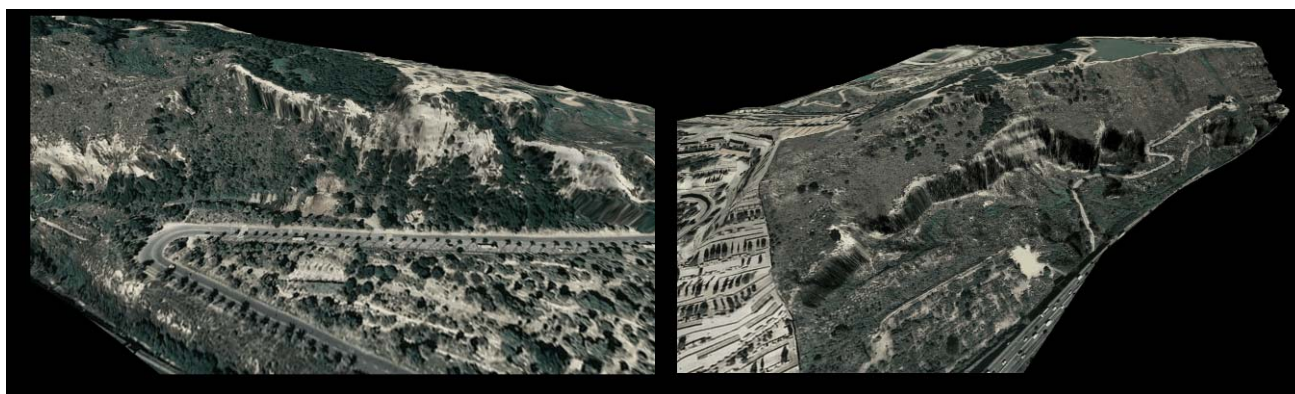


Figura 23. Imágenes del penya-segat obtenidas mediante la nube de puntos y su vinculación con SIG